图书情报工作
第64卷 第14期 2020年7月

学科交叉研究系统综述*

■ 张雪[1,2] 张志强[1,2]
[1] 中国科学院成都文献情报中心 成都 610041 [2] 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系 北京 100190

摘 要:[目的/意义]梳理国内外学科交叉相关研究,归纳总结现有研究存在的问题,为评价学科交叉效果提供参考,为促进学科交叉发展提供借鉴。[方法/过程]首先对学科交叉研究相关概念进行辨析,其次在调研国内外相关研究基础上从学科交叉理论研究(学科交叉人才培养、学科交叉类型、学科交叉内外动机和阻碍因素)、学科交叉测度研究(学科交叉测度方法、学科交叉测度指标)、学科交叉相关规律研究(学科交叉影响双向测度、学科交叉研究主题识别)三个层面对其进行归纳整理,最后提出现有研究不足并对未来发展提出展望,为后续从微观深层分析与宏观整体建构相结合视角的研究提供帮助。[结果/结论]目前学科交叉研究存在以下不足:师资队伍和课程体系需进一步优化;研究对象多样性有待改善;学科交叉测度方法、测度指标仍需系统化;学科分类体系有待进一步界定;学科交叉双向影响因素不够全面;主题识别方法尚未完善;定性、定量方法需相互结合,互为补充。未来研究可针对以上不足进行深入分析。

关键词:学科交叉 理论研究 交叉度 影响因素 主题识别
分类号:G250
DOI:10.13266/j.issn.0252-3116.2020.14.012

1 引言

随着“大科学时代”和数据密集型科学时代的到来,许多重大科技问题的解决和突破需要超越传统学科边界,以科学问题为导向,融合多学科领域的知识。因此,学科交叉逐渐成为现代科研原始创新的主要活动组织方式。政策方面,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020)》在关于基础研究的学科发展部分明确指出,基础学科之间、基础学科与应用学科、科学与技术、自然科学与人文社会科学的交叉与融合,往往导致重大科学发现和新兴学科的产生[1],国家自然科学基金委也通过重大项目及重大研究计划促进学科交叉[2];美国2003年成立的“国家科学院凯克未来创新计划”(National Academies Keck Futures Initiative, NAKFI)[3]、英国联合研究理事会(UK Research Councils, RCUK)[4]、德国研究联合会(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG)[5]、法国国家科学研究中心(Centre National de la RechercheScientifique, CNRS)[6]也通过一系列资助计划和优惠政策力图打破学科壁垒,促进学科交叉发展。科研评价方面,法国科研与高等教育评估高级委员会(High Council for Evaluation of Research and Higher Education, HCERHE)2017-2018年度评价指标[7]、英国研究卓越框架2021(Research Excellence Framework, REF)[8]等逐渐将研究单元与团队的学科交叉度作为高校及科研院所学术水平评价指标。实践方面,美国1985年成立麻省理工学院媒体实验室(MIT Media Lab)[9]、1998年成立波士顿剑桥区医疗和科技创新整合中心(Consortia for Improving Medicine With Innovation & Technology)[10],北京大学2006年成立前沿交叉学科研究院[11],浙江大学2003年成立跨学科社会研究中心[12],这些研究平台的建立为学科交叉提供前沿阵地;1970年美国麻省理工学院出版《跨学科历史杂志》(Journal of Interdisciplinary History)、1976年英国创刊《跨学科学评论》(Interdisciplinary Science

* 本文系国家社会科学基金重点项目“面向领域知识发现的学科信息学理论与应用研究”(项目编号:17ATQ008)、中国科学院战略研究与决策支持系统建设专项项目“世界科技发展形势与环境分析”(项目编号:GHJ-ZLZX-2019-43)和中国科学院文献情报能力专项项目“科技领域战略情报研究咨询体系建设”(项目编号:Y9290001)研究成果之一。
作者简介:张雪(ORCID:0000-0003-3329-8977),博士研究生;张志强(ORCID:0000-0001-7323-501X),主任,研究员,博士生导师,通讯作者,E-mail:zhangzq@clas.ac.cn。
收稿日期:2020-01-31 修回日期:2020-03-09 本文起止页码:112-125 本文责任编辑:易飞

Review)[13],1979 年童斌发表《跨学科研究与历史学》[14]、1989 年吴维民主编的《交叉科学研究》[15]出版,以上专门期刊、文章和书籍等的出版为学科交叉的交流与传播提供了途径。

在各国支持和资助下,学科交叉不断深入发展,在解决社会问题、促进科技创新方面发挥着越来越重要的角色,正如路甬祥院士所言,学科交叉点往往就是科学新的生长点、新的科学前沿,这里最有可能产生重大的科学突破,使科学发生革命性的变化[16]。国内外学者也从不同角度出发对学科交叉进行了解读,如学科交叉理论研究、指标测度、主题识别等[17－21],但尚存在概念内涵未统一、学科分类多样化、指标体系多而杂等缺陷,使得学术交流受阻、同一领域相同指标不同分类粒度或同一领域相同分类粒度不同指标结果差异较大,最终导致学科交叉结果难以进一步推广和发展。

本文首先以 Web of Science 数据库和中国知网为数据源,分别以 TI = (Interdisciplinar＊ OR Multidisciplinar＊ OR Crossdiciplinar＊ OR Transdisciplinar＊) 和篇名 = (学科交叉 OR 交叉学科 OR 交叉科学 OR 学科交叉度) 为检索式,根据二八定律,结合被引频次筛选国内外学科交叉重点文献,同时对参考文献中出现的有价值文献进行回溯检索,通过对上述重点文献的梳理与总结,首先对学科交叉相关概念进行系统归纳,讨论不同概念的区别和联系;然后从学科交叉理论研究、学科交叉测度研究、学科交叉相关规律研究 3 个层面归纳国内外学科交叉研究成果;最后总结现有研究存在的不足并对学科交叉未来发展做出展望。

2 学科交叉相关概念辨析

要回答什么是学科交叉、什么是交叉学科,首先需要回答什么是学科。《现代汉语词典》指出,学科是按照学问的性质而划分的门类,如“自然科学中的物理学、化学”“学校教学的科目,如语文、数学”“军事训练或体育训练中的各种知识性科目”[22];库恩认为一门学科可以称之为范式、范式成分或合乎范式的东西,被“专业基体”所规定,专业基体包括符号概括、模型和范例[23]。由以上概念可知人们认为学科具有不依赖其他学科的独立性,是知识的社会秩序,但随着社会的发展,单一学科越来越难以解决复杂社会问题,学科之间固有的学科界限使得科技创新举步维艰,学科交叉应运而生。根据刘仲林教授研究[24],若将学科体系简化为自然科学、社会科学、技术科学三大门类,则学科与交叉学科的关系如图 1 所示,图中无线条的部分是单学科区域,有线条的为交叉学科区域,其中虚线表示同一学科门类内部交叉,实线表示两大学科门类间的交叉,图中心实心表示同时涉及三大门类的交叉学科。所以学科与交叉学科的关系为:一门交叉学科是同一学科门类下不同子学科或不同门类的多个学科交叉的结晶,具有一个以上学科属性。

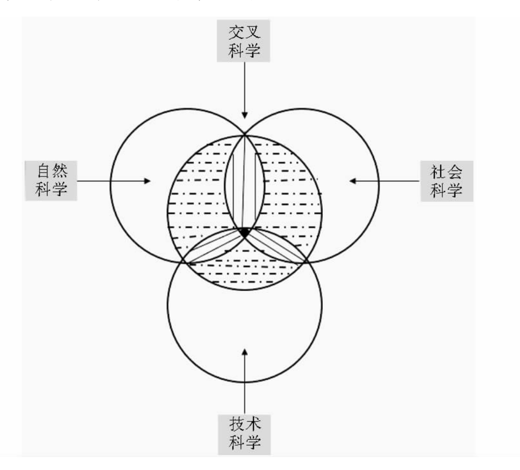


图 1 学科体系软分类结构

国外关于交叉学科的讨论从 20 世纪 40 年开始出现,直到 20 世纪 70 年代才引起学术界的关注,“跨学科(interdisciplinary)”一词最先由美国哥伦比亚大学心理学家 R. S. Woodworth 提出,指超越一个已知学科边界而进行的涉及两个或两个以上学科的实践活动[25]。在我国,学科交叉研究于 20 世纪 80 年代开始兴起,部分学者沿袭从国外翻译过来的“跨学科”术语,另一部分学者则将其译为“交叉学科”,代表事件为以钱学森、钱三强、钱伟长在 1985 年首届交叉科学学术研讨会上做了题为“交叉科学:理论和研究的展望”“迎接交叉科学的新时代”“交叉科学与科学家的社会责任”的主题报告,对我国交叉科学发展重点等问题进行了深刻讨论,虽“跨学科”和“交叉学科”表述不同,但二者本质一致,英文单词均为“Interdisciplinary”。

随着交叉学科的深入发展,出现许多与交叉学科相关的术语,主要包括以下 4 类:

(1)代表学科活动的不同层次,包括单学科(unidisciplinary)、多学科(multidisciplinary)、群学科(pluridisciplinary)、横学科(crossdisciplinarity)、交叉学科(interdisciplinary)、超学科(transdisciplinary),学科之间层次依次增强,本文在参考借鉴奥地利学者 J. Erich[26]表述基础上总结归纳了各个术语的内涵,见表 1。

(2)交叉科学和跨学科学(interdisciplinary science)。钱学森[27]指出,“所谓交叉科学是自然科学和社会科学相互交叉地带生长出来的一系列新生学科。”

《交叉科学学科辞典》[28]对跨学科学的定义为“从总体上研究学科交叉的规律和方法的科学，又称科学交叉学。其研究对象是各类交叉学科形成和发展一般规律和方法的探索”。总体来说，交叉学科或跨学科指两门或两门以上学科渗透融合的活动及所形成的新学科群，而交叉科学或跨学科学是独立的学科，是所有交叉学科或跨学科的集合，是专门研究交叉学科或跨学科整体规律的科学。

（3）学科交叉、交叉科研、跨学科研究（interdisciplinary research，IDR）。三者意思相同，美国国家科学院认为学科交叉是由团队或个人进行的一种研究模式，它集成了两个或两个以上学科或专业知识团体的信息、数据、技术、工具、观点、概念或理论，以解决或加深对那些超过单一学科范围或研究实践领域问题的认识[29]；I. Rafols 和 M. Meyer[30]在上述定义的基础上指出，学科交叉的关键方面为整合不同知识体系而不是违反学科界限。学科交叉是众多学科之间的相互作用，交叉形成的理论体系构成交叉学科，众多交叉学科构成了交叉科学[16]。综上，学科交叉（交叉科研、跨学科研究）更加侧重具体实践方面，作为一种科研组织方式，笔者认为学科交叉（交叉科研、跨学科研究）属于交叉科学（跨学科学）的部分研究内容，其以交叉科学（跨学科学）的理论知识为指导，通过一定方法和实践使得交叉学科（跨学科）相关问题得以解决或促使新的交叉学科（跨学科）形成，其是交叉学科（跨学科）形成的方式和途径，有些学科交叉（交叉科研、跨学科研究）活动慢慢发展壮大，形成一个新的学科：交叉学科（跨学科），而有的并没有好的研究前景，以至于消亡[17]。

（4）跨学科性、学科交叉度（interdisciplinarity）。二者意思相同，李江[31]认为将 interdisciplinary 的名词形式 interdisciplinarity 译为跨学科性（学科交叉度）更为恰当，他指出，跨学科性（学科交叉度）是跨学科研究中的跨学科特征，如各学科知识交叉的广度与强度、知识跨学科分布与扩散的特征等，在科学计量学领域以具体数值大小来表示某个学科跨学科性（学科交叉度）的强弱。为方便理解，将以上交叉学科相关概念进行归纳总结，见图 2。为规范术语，后文统一使用交叉学科、交叉科学、学科交叉、学科交叉度。

表 1　学科交叉相关术语辨析

相关术语	内涵	示意图
单学科（unidisciplinary）	仅依赖与单一学科相关的理论、方法和概念	
多学科（multidisciplinary）	多学科学者解决同一问题，但学科之间界限清晰，未交融	
群学科（pluridisciplinary）	各学科处于同一层次，但学科合作不协调	
横学科（crossdisciplinarity）	各学科处于同一层次，但有一主导学科对其他学科产生影响	
交叉学科（interdisciplinary）	不同学科相互融合，彼此渗透，可能产生新的研究领域或学科	
超学科（transdisciplinary）	比交叉学科层次更高，学科之间已不存在固定界限	

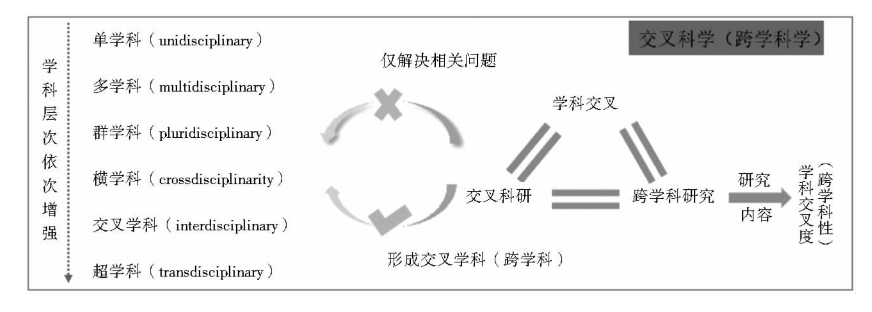


图 2　学科交叉相关术语图解

3 国内外学科交叉研究主要内容

本文主要关注交叉学科的实践层面，即学科交叉，在调研国内外相关研究的基础上从学科交叉理论研究、测度研究、相关规律研究三方面对其进行归纳总结，其中理论研究是学科交叉得以成功开展的基础，测度研究是区分和衡量学科交叉度大小的工具，相关规律研究是对学科交叉研究过程中一些现象的总结和挖掘，是学科交叉研究的主要目的。

3.1 学科交叉理论研究

学科交叉理论层面研究主要是人们基于理论知识和经验判断对学科交叉发展的基础进行总结归纳，其中人才是学科交叉研究的主体，学科交叉类型是明确其组织形式、创建交叉学科的关键，内外动机和阻碍因素探究其形成机制、促进学科交叉发展的动力。因此本节分别梳理上述3个问题。

3.1.1 学科交叉人才培养

传统模式组建的大学院系独立、学科分明，随着交叉学科潮流的冲击，如何培养复合人才以适应社会所需成为教育工作者的关注点。国内外高校一方面逐渐开始建立学科交叉研究中心，为从事学科交叉研究提供平台；另一方面调整课程结构，增加文理交叉、理工交叉的综合性课程，如西班牙中小学将传统的科目如历史、地理等与新型科目如经济学、社会学等结合形成新的学科“社会及自然科学”；麻省理工学院增加跨人文、自然科学、社会科学的课程资源，并要求工科和文科学生必修一定数量。国内外学者在实践基础上也对学科交叉课程设置、培养模式、人才管理等方面进行了分析，如陈其荣[32]指出，交叉学科教育是一种变革，要通过教育思想的转变和学科教育的整体化两方面进行推进；P. Hall 等[33]通过阅读查阅有关卫生保健交叉学科教育和团队合作的文献得出需将交叉学科教育与传统方法进行比较，明确何时开展教育、谁来教育以及如何教育等问题；R. Szostak [34]认为因学术研究和社会问题越来越需要交叉学科的关注，故交叉学科课程对大学影响越来越大；J. K. Singleton 等[35]分析了卫生保健交叉学科教育的障碍和益处，并探讨了实现交叉学科实践教育的途径；M. F. Orillion [36]通过案例研究考察某大学交叉学科课程、机构背景和学生成绩之间的关系，结果表明交叉学科课程的增多有助于学生成绩的提高；汪丁丁[37]指出我国交叉学科教育最稀缺的资源不是金钱，而是有交叉学科教育能力的师资；S. A. Nancarrow 等[38]在对交叉学科相关文献综述的解读基础上，对11个社区康复和中级护理团队的253名员工进行访谈，最终提出积极的领导和管理属性、沟通策略和结构等10条支持交叉学科团队工作的准则；郑腊香[39]认为应该通过更新教育理念和教学方式、调整培养方案和课程体系、加强教学和研究人员建设三方面培养复合型人才。

在上文调研基础上可知，学科交叉教育历史悠久，伴随着交叉学科的兴起而不断发展，各国在促进学科交叉方面也做了许多有益探索，主要包括改变教育思想、更新教育方式、设立学科交叉研究中心、丰富课程设置、加强师资队伍建设等。

3.1.2 学科交叉类型

学科间交叉形式不同会造成不同交叉类型，而不同交叉类型的选择有助于解决不同科学问题，学者们根据两个或多个学科相互交叉融合的方式不同、侧重点不同定义了不同的学科交叉类型，如李春景等[40]认为学科交叉可分为科学主体交叉（同一研究者知识背景交叉、不同研究者组成交叉学科研究中心或团队）、研究对象交叉（“近缘”学科不同研究领域交叉、“远缘”学科相似属性交叉）、学科范式交叉（语言移植再生、方法借鉴渗透、理论一体化）3种类型；金薇吟[41]将其归纳为观同察异（以比较学科的观同、辨异为基础）、话语移植（将其他学科的学术话语移植或嫁接到新研究领域）、互补共融（程度高于话语移植，交叉学科水乳交融）、连锁辐射（两门学科交叉生成的新学科再与其他学科进行第二次或第三次再交叉）、辐集聚焦（多门学科多维度交叉）、横断综析（从学科及相关领域的物质结构、运动形式中截取共同侧面进行综合性研究）、形上升华（融合并抽象了种种学科并具有更高度综合性的学科）等7种；J. Klein [42]根据学科交叉程度由浅到深将其分为模糊、破裂、跨越、渗透等环节；周文娟[43]将其进行简化，分为移植嫁接、互补共融、连锁辐射和辐集聚焦4种类型。

由以上分析可知，学科交叉研究类型的核心思想是将其他学科相关方法和技术运用到本学科，根据两个或多个学科交叉融合的主次、方式、程度不同进一步细分为不同类型。在科学计量学领域可将识别的学科交叉主题与学科交叉类型对应以挖掘交叉本质。

3.1.3 学科交叉内外动机和阻碍因素

为什么要进行学科交叉？学科交叉的形成机制是什么？阻碍学科交叉发展的因素有哪些？是学科交叉关注的另一问题。对这一问题的剖析有助于领会时代赋予学科交叉的任务，明确学科交叉需要解决的问题，

以便研究人员更好地对症下药。《促进跨学科研究》[44]报告中指出自然界和社会本身固有的复杂性、在学科层面探索基本研究问题的推动力、解决社会问题的需要、新技术的促进因素是学科交叉的 4 种推动力;马跃等[45]认为认识主体的好奇心、社会发展的要求、学科协同效应的作用是学科交叉研究的动力源;B. Shrimpton 等[46]通过访问 30 个澳大利亚高校的研究人员得出结论:解决复杂问题的愿望、产生有用结果的动力、学校政策等是推动学科交叉的动力,但获得资金支持的机会少、额外付出的时间多等将阻碍学科交叉发展;A. Milman 等[47]通过对 526 名博士的调研,发现个人兴趣、对社会的有益性、交叉学科合作的享受是其开展相关研究的动力,但科研时间更长、缺乏同行支持、体制障碍是阻碍其发展的原因。

通过梳理现有文献,本文将学科交叉促进因素分为内因及外因,其中外因包括社会重大综合性问题的解决、一系列政策文件的批示、学科交叉研究中心设立等;内因包括单学科发展受阻、学科自我提升需求、研究人员兴趣和爱好等。学科交叉阻碍因素包括政策体制不统一、研究者个人视角和关注领域狭窄、不同领域学者沟通受限、无统一学科交叉评价机制。

3.2 学科交叉测度研究

随着科技文献的迅速积累,科学计量方法成为定量分析学科交叉的重要手段,对学科之间整合或交叉程度大小的测度是基金资助部门和研究者日趋关注的话题,具体以某领域、期刊、学科等一定范围的文献为数据源,其次根据研究目的和数据特征选择合适分类体系及研究视角,最后根据测度指标进行学科交叉度的分析和研究。本节对国内外学科交叉测度研究视角、常用分类体系及测度指标进行归纳总结。

3.2.1 学科交叉测度方法

(1)研究视角。通过对国内外学科交叉测度相关文献的调研发现,现有研究主要从个人学术背景或作者合作、文献及其引文两个视角出发,通过学者信息调研、机构或期刊学科类别映射,在不同学科交叉测度指标的计算下得出具体学科交叉度的大小,具体分析框架如图 3 所示:

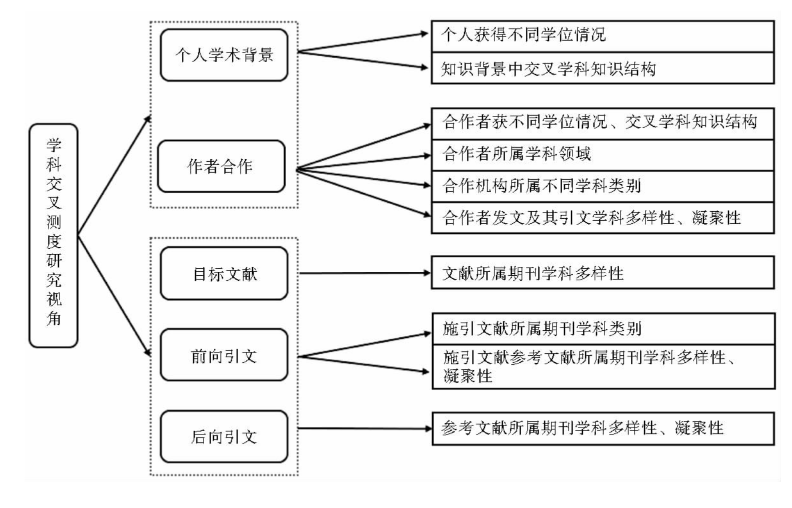


图 3 学科交叉测度研究视角

其一,基于个人学术背景/作者合作的学科交叉测度。若直接从研究者本身知识背景来分析其学科交叉度,常用的方法有[48]:①研究者获得本专业以外学位的情况。即若测度管理学领域学者的学科交叉度大小,统计这些学者除获管理学学位外,其他学位占比情况,如刘仲林等[49]通过统计诺贝尔生理学和医学奖获得者在学士、硕士、博士阶段除获医学学位外,其他学位占比情况来测量诺贝尔生理学和医学奖的学科交叉度;C. R. Sugimoto 等[50]通过收集图情领域博士生导师和学术委员会成员学科背景信息,来分析学科交叉度和博士论文质量之间关系。②研究者知识背景中交叉学科的知识结构。如诺贝尔生理学和医学奖得主罗斯是医学博士,但很擅长数学和物理学,且在文学领域也很有天赋,通过统计类似交叉学科人才占比来测度学科交叉度。但此类研究较少,一是数据统计繁琐复杂,某一领域研究者众多,调研中首先需要解决同名同姓问题;其次对其学术生涯及背景的追溯需要阅读大量的文献资料,耗时耗力;二是学位授予情况和知识背景组成结构并不能直接反映其当下研究成果学科属性,越来越多学者所从事职业与学位并无直接关系。

不同领域作者合作是从“人”的视角测度学科交叉度的另一方面,研究角度包括:①如上文所述,可通

过合作者获本专业以外学位、交叉学科知识结构等情况测度其学科交叉度。②合作者所属学科领域。即直接通过不同领域合著者占比情况测度其学科交叉度。如 G. Abramo 等[51]以意大利大学在 2004－2008 年间出版的硬科学出版物为数据源，在意大利公共研究平台(收录 2001 年起意大利研究人员出版物信息，每个研究人员归属为特定的研究领域，每个研究领域向上归属为 9 个不同学科)的辅助下，每个研究人员属于唯一的学科，通过学科交叉测度指标计算得出不同大学不同学科的学科交叉度。但此类研究非常少，只是少数国家有“学者－研究领域－所属学科”平台，目前在 WoS、Scopus 数据库及国内期刊数据库中，都没有对作者的学科归类和代码[52]。③合作者所属机构学科属性。即将不同合著机构之间的学科交叉研究程度作为该领域学科交叉度的大小。如张琳等[53]以 2014－2016 社会科学领域高被引学者研究成果为例，通过统计其机构－学科信息，探索不同学科机构合作是否有助于产生交叉学科成果；L. Qiu [54]以图情领域期刊为研究对象，通过对合著者机构信息的解析来研究交叉学科合作情况，得出期刊质量与所收录学科交叉论文数量相关；A. Y. K. Chua 等[55]也通过识别作者所属机构确定其研究领域，以此测度 JASIST 期刊学科交叉度。该方法因机构特征词复杂多样，与具体学科匹配存在一定主观性且工作量巨大尚未成为研究主流。④合作者发文及其引文。上文所述三种角度因数据获取困难、数据量大且处理繁琐难以推广，国内外学者在此方面仅有部分探索和尝试，而通过文献及其引文间接反映作者学科交叉度是更为成熟和通用的方法。如 A. L. Porter 等[56]以作者发文及参考文献为数据源，提出用整合度和专业度测度其学科交叉度；M. Gowanlock 等[57]等将文献计量学与机器学习方法相结合分析天体生物学研究人员学科交叉度；J. Qin 等[58]为分析合作是否促进学科交叉，分别测量个人合作、机构合作、国家合作层次下论文参考文献的学科交叉度；徐晓艺等[59]以独著论文跨学科性为基础，对比分析合作论文参考文献学科交叉度；杨良斌等[60]构建以作者合作度、多学科度等为基础的学科交叉测度指标体系。

学科交叉问题复杂性导致科研合作是促进其发展的有效方式之一，但基于个人学术背景/作者合作学科交叉测度研究由于数据获取和处理问题、学术背景和机构属性与实际研究成果不完全一致等问题，仍处于初级阶段，未来可在更多工具辅助下进行更深入发展。

其二，基于目标文献及其前向、后向引文的学科交叉测度。随着科技文献爆炸式增长加之各数据库平台“期刊－学科”分类已发展较为成熟，利用科技文献定量测度领域学科交叉度成为主流，研究角度包括：①目标文献。目标文献本身学科多样性虽是测度学科交叉度最直接的方式，但现有数据库并没有对文献进行学科划分，一般通过文献所属期刊的学科分类表示其学科类别；另一方面一篇目标文献只属于一个期刊，而目标文献有多篇参考文献，可属于多种不同期刊，对比而言后者数据量更大，测量更加准确，故现有研究很少仅从目标文献出发测量领域学科交叉度，虽部分学者有初步探索，但也结合参考文献、施引文献分析视角，如 A. L. Porter 等[56]提出学科专业化指数(specialization index)来测量文献本身的集中化程度；黄颖等[61]在该公式基础上从学科专业化指数、学科集成指数、学科扩散指数 3 方面对 2005－2014 年诺贝尔物理学奖获得者的实证研究表明物理学领域具有明显的学科特征，但集成程度和扩散程度还处于较低水平；X. F. Wang 等[62]认为参考文献和施引文献视角的学科交叉测度容易忽略文献自身学科属性，故其以 WoS 数据库中应用数学、计算科学等领域 60 位高产作者为例，从目标文献、参考文献、施引文献出发测量其学科交叉度，结果表明不同作者在 3 个维度表现不尽相同，说明这 3 个维度互相补充，不可替代；黄颖等[63]以普赖斯奖获得者的论文为例，从参考文献学科多样性、目标文献学科多样性和合作机构学科多样性 3 个维度进行测度和综合比较分析，得出与单一维度的方法相比，三维测度可更加全面地剖析研究对象的学科交叉度。②参考文献。文献计量学中通常用引文分析来衡量研究成果的学科交叉度，学科交叉的本质是知识集成，而论文参考文献的多样性从逻辑上说是知识整合的最好测度，可以很好地测度该领域知识与信息的交叉融合情况[64]，故现有研究中多以参考文献作为学科交叉测度的主要方法。如 A. L. Porter 等[65]在 A. Stirling [66]学科交叉测度公式(包括：variety(丰富性)，即学科的数量；balance(平衡性)，即各学科分布均匀性；disparity(差异性)，即学科之间差异程度)基础上提出学科集成化指数(integration measure)，并对 1975－2005 年 6 个研究领域发表论文的参考文献的学科交叉度进行测度，结果表明科学虽逐渐变得交叉融合，但更多是从邻近领域汲取知识；L. Leydesdorff [67]以 7 379 种期刊载文参考文献为数据源，采用中介中心性、接近中心性、度数等指标对期刊跨学科性进行度量，表明中介中心性是测量学科交叉度的较好指标；L. Zhang 等[68]以 7 种期

刊上 15 757 篇文章的参考文献为数据源,采用 2DS 指标测度其学科交叉度,结果表明该指标比 Rao-Stirling 指标区分度更好;M. Szell 等[69]以 1980 年以后 108 篇诺贝尔奖获奖论文的参考文献及施引文献为数据源,采用基尼系数对其进行学科交叉测度,结果表明物理、化学、生理学或医学领域仍囿于本学科,较少借鉴其他学科知识。③施引文献。虽然知识集成是学科交叉的本质,但知识扩散能够完成知识的传承,施引文献作为知识扩散的测度指标在引用时通常会考虑文献内容的相似性,从而形成基于相似性的网络演化过程,也就是说知识不仅在相同领域被引用,也会在相近的领域和相异的其他领域得到引用和传播,从而促成新知识的产生[70]。但施引文献具有动态性,学科交叉度因时间不同可能会有较大差异,且同样需要通过文献所属期刊学科类别确定其学科属性,存在与目标文献类似问题,故该方面的研究也较少,和参考文献视角联合分析,如 S. Carley 等[71]提出用学科扩散化指数(diffusion score)测量前向引文学科多样性;Y. Liu 等[72]提出一个学科或一组论文集合施引学科数量是该学科或论文集合的学科扩散广度;童寿传[73]运用布里渊指数测度中国图书情报国际论文学科扩散均匀分布程度;操玉杰等[74]以学科类别总计、交叉学科引用指数、信息熵、专业度为指标,从参考文献和施引文献两方面测量医学信息学领域学科交叉度,结果表明两个维度测量结果存在一定内在关联,但在不同阶段呈现不同相关关系。

由以上分析可知,基于文献的学科交叉测度由于数据容易获取成为目前使用较多的测度方法,但目标文献、施引文献视角由于数据体量相对较少、动态变化性强,需和参考文献视角结合分析,虽现有研究以参考文献分析居多,但 3 个视角测度结果互为补充,展现出领域学科交叉度的不同侧面,是未来分析的方向。不过定量分析方法以文献所属期刊学科类别为划分依据,期刊类别并不能完全代表其刊载文章的学科类别,故该方法作为学科交叉测度的一个方面,需和定性分析结合使用。

(2)分类体系。确定分类体系是学科交叉测度的关键之一,表 2 为现有研究中使用较多的分类体系。分类粒度过细会导致一篇文献属于多个不同学科类别,相似文献被归属到不同临近学科,易造成领域学科交叉度过高的虚假局面;分类粒度过粗会导致学科交叉发生困难,大学科门类的交叉虽易产生颠覆性成果,但大部分研究都是学科内交叉,易造成领域学科交叉度过低的虚假局面,故需根据研究领域概况,选择相对适合的分类体系。

表 2 学科交叉测度分类体系

序号	分类系统	学科类别	备注
1	ESI 分类体系	22 个学科大类	共 11 951 种期刊,大类之一为 multidisciplinary(多学科领域),58 种期刊属于该类别
2	JCR 分类体系	236 个学科类别	共 12 558 种期刊,有的期刊属于多个学科类别
3	WoS 分类体系	254 个学科类别	18 000 种左右期刊,有的期刊属于多个学科类别
4	美国自然科学基金委分类体系	10 大类 +38 小类	将每个 SCI/SSCI/A&HCI 期刊有且仅归入一个大类,一个小类
5	ECOOM 分类体系	16 大类 +64 小类	将 WoS254 个学科类别不重复映射到每个大类、小类
6	Scopus 分类体系	4 大类 +26 小类	26 小类下又划分为更多类别
7	莱顿大学 CWTS 分类体系	5 大类 +4 535 小类	将 WoS 254 个学科类别有重复地映射到每个小类,不重复映射到每个大类
8	国家自然科学基金委	8 大学部 +91 小类	91 小类分为更多子类,子类又划分为更多小子类
9	中国图书馆分类法	五大部类 +22 个基本大类	22 个基本大类又分为更多子类
10	中国引文数据库分类体系	8 大类 +124 小类	以我国 6 230 种中文期刊为数据源
11	中国社会科学引文索引分类体系	25 大类	以 2 700 余种中文人文社会科学学术性期刊中的 500 多种期刊为数据源

3.2.2 学科交叉测度指标

A. Stirling [66]从 variety、balance、disparity 三方面出发构建了学科交叉测度框架,I. Rafols 等[30]以此为基础指出学科多样性(diversity)表明出版物知识集成的广度,网络一致性(coherence)反映了知识集成的新颖性,两种方法的结合可能有助于新兴科学和技术领域的比较研究,其中学科多样性即为 A. Stirling 提出的三维框架。故目前国内外现有学科交叉测度指标以学科多样性和学科聚合性为基础,演化出不同多样性和聚合性测度指标,梳理归纳已有指标,见表 3。

现有指标大多测度了学科交叉的某个维度或某几个维度,对比而言,Rao-Stirling 指数、2DS 指数、Ø 指标综合性最强。总体来看,存在单一性指标居多、没有形成统一、系统的量化体系、同维度的指标各有优缺点,不能互相取代、指标计算复杂,难以实施和推广等问题,故未来应在指标的统一性、可操作性等方面继续深

入研究。此外,部分学者在研究中没有选择某个特定指标,而是采用因子分析对所有指标进行降维分析,如J. Wang 等[75]将学科类别总计、基尼系数、Shannon 信息熵、Simpson 指数等指标分为 3 个因子对 2001 年 Web of Science 数据库中所有论文进行学科交叉测度;L. Leydesdorff 等[76]通过对各指标进行因子分析指出各指标有其优缺点,应互为补充,如 Shannon 信息熵比基尼系数区分度更大,但其对样本大小更敏感,余弦指数比欧几里得距离在学科差异性区分上更好。以上研究同样存在计算复杂等问题,但为学科交叉测度指标选择提供了新的思路。

表 3　学科交叉测度指标

维度	指标	计算方法	含义	作者
学科丰富性(variety)	学科类别总计(NS)	$NS = \sum N_i$	文献中包含的学科类别总数 N:学科类别,i:文献数量	A. L. Porter 等[77]
	学科专门度(S)	$S = \frac{\sum(P_{SC_1}^2 + \cdots + P_{SC_n}^2)}{\sum(P_{SC1} + \cdots + P_{SCn})^2}$	作者发表论文学科类别情况 PSCn:学科 n 包含文献量	A. L. Porter 等[65]
学科平衡性(balance)	跨领域引用指数(COC)	$COC = \frac{\sum_{i \in O} Ci}{\sum_{i \in I \cup O} Ci}$	某学科所有引用文献中引用其他学科文献的比例 I:本学科,O:本学科以外其他学科,Ci:在 i 领域的引用文献数	A. L. Porter 等[77]
	基尼系数(GE)	$GE = \frac{\sum(2i - n - 1)x_i}{n \sum x_i}$	最初用来衡量收入不平等 i:索引,xi:引用第 i 个学科的文献量,n:引用文献总量,类别根据 xi 由小到大排列	L. Leydesdorff 等[78]
学科差异性(disparity)	Jaccard 系数	$SJ(i,j) = \frac{cit(i,j)}{coc(i) + coc(j) - cit(i,j)}$	不同学科之间差异性 cit(i, j):学科领域 i 对领域 j 的引用次数,coc(i):领域 i 出现次数,coc(j):领域 j 出现次数	L. Hamers 等[79]
	Salton 余弦相似性	$Salton = \frac{\sum A * B}{\sqrt{\sum A^2} * \sqrt{\sum B^2}}$	不同学科之间差异性 A:学科领域 A 引用次数,B:学科领域 B 引用次数	L. Hamers 等[79]
学科丰富性(variety)+学科平衡性(balance)	加权跨领域引用指数(WCOC)	$WCOC = \frac{\lvert O \rvert}{\lvert I \cup O \rvert} \frac{\sum_{i \in O} Ci}{\sum_{i \in I \cup O} Ci}$	考虑本学科受其他领域学科影响程度 I:本学科,O:本学科以外其他学科,Ci:在 i 领域的引用文献数	K. H. Chen 等[80]
	Shannon 信息熵(SH)	$SH = -\sum \frac{x_i}{\sum x_i} \log(\frac{x_i}{\sum x_i})$	学科类别平均分布程度 xi:属于第 i 个学科类别的数量	C. E. Shannon 等[81]
	Simpson 指数(SI)	$SI = 1 - (\sum \frac{x_i}{\sum x_i})^2$	不同学科类别的概率 xi:属于第 i 个学科类别的数量	E. H. Simpson [82]
	Brillouin 布里渊指数(BI)	$H = \frac{\log N! - \sum(\log n_i!)}{N}$	不同学科类别的概率 N:文献总量,ni:属于第 i 个学科文献数量	L. Brillouin 等[83]
	赫芬达尔指数(PDIV)	$PDIV = 1 - \sum_{i=1}^{M}(\frac{N_i}{N})^2$	不同学科类别的概率 M:学科总数,N:文献总量,Ni:属于第 i 个学科文献数量	R. M. Grant 等[84]
学科丰富性(variety)+学科差异性(disparity)	同心指数(Di)	$D_i = \sum_{j=1}^{n} m_j \sum_{l=1}^{n} m_l r_{jl}$	m_j:属于学科类别 j 的文献量,r_{jl}:根据学科类别差异程度分别为 0,1,2	C. A. Montgomery 等[85]
	学科区分度指数 R	$R = 1 - \sum_{i,j} \cos(SC_i - SC_j) P_i P_j$	目标文献和参考文献所属类别差异程度 SC_i,SC_j:参考文献、目标文献主题类别,P_i、P_j:i、j 类别频次	A. L. Porter 等[56]
学科丰富性(variety)+学科平衡性(balance)+学科差异性(disparity)	学科集成化指数 I	$I = 1 - \frac{\sum_{i,j} \cos(W_{C_i} - W_{C_j}) P_i P_j}{\sum_{i,j}(P_i * P_j)}$	知识集成程度 i、j:学科类别,P_i、P_j:i、j 类别在总类别中所占比例,$\cos(W_{Ci} - W_{Cj})$学科 i、j 关联程度	A. L. Porter 等[56]
	Rao－Stirling 指数	$RS = 1 - \sum_{i,j} S_{ij} P_i P_j$	P_i、P_j:学科类别 i、j 论文数占所有学科论文总数比例,S_{ij}:学科 i、j 相似度	A. Stirling [66]
	$^2D^S$ 指数	$^2D^S = \frac{1}{1 - RS}$	同上	L. Zhang 等[68]
	IDD 指标	$IDD = \frac{mdig[C]' M - \overline{M'}CM}{m^2 - m * \overline{m_i}}$	m:引用参考文献总数,m_i:参考文献对应学科引用量,C:参考文献对应学科亲缘关系矩阵,M:m_i 组成的列向量	L. Bromham 等[86]
	DIV 指标	$DIV = (n_c/N) * (1 - Gini_c) * \sum_{i=1,j=1,i \neq j}^{j=nc,i=nc} d_{ij} / [n_c * (n_c - 1)]$	RS 修正指标,nc:学科类别,N:学科类别总数	L. Leydesdorff 等[87]

(续表 3)

维度	指标	计算方法	含义	作者
网络一致性(coherence)	中介中心性(BC)	$BC = \sum_{j<k} g_{jk}(n_i)/g_{jk}$	连接两个网络的桥梁 g_{jk}:点 j 和 k 之间最短路径数目,$g_{jk}(n_i)$:包含行动者 n_i 的两个行动者之间的最短路径数目	L. Leydesdorff[88]
	网络密度(ND)	$ND = \frac{L}{n(n-1)/2}$	网络凝聚性高低 L:网络中实际连线数目,n:网络中节点数目	I. Rafols 等[30]
	平均路径长度(MPL)	$MPL = \sum_{i \neq j} d_{ij}/n(n-1)$	节点之间距离 d_{ij}:节点 i、j 路径长度,n:网络中节点数	I. Rafols 等[30]
	凝聚子群密度(E-I 指数)	$E-I = \frac{EL-IL}{EL+IL}$	衡量整体网络中小团体现象 EL:子群之间关系数,IL:子群内部关系数	李长玲等[89]
	网络凝聚度(compactness)	$C = \frac{\sum_{i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}}{n(n-1)}$	描述网络凝聚程度 d_{ij}:节点 i、j 之间最短距离的倒数,n:节点数目	L. Egghe 等[90]
学科多样性(diversity) + 网络一致性(coherence)	Ø 指标	$\phi = \sum_{ij}(i \neq j)\ (d_{ij})^{\alpha} * (P_i * P_j)^{\beta} * (1 - \frac{d(i,j)}{N})^{\gamma}$	综合性指标 N:领域数量,P_i:领域 i 比重,d_{ij}:领域 i、j 差异,d(i,j):领域 i、j 最短加权距离,α、β、γ:0 或 1	陈赛君等[91]

3.3 学科交叉相关规律研究

随着研究的不断深入,对“哪些因素促进学科交叉”“学科交叉反过来促进哪方面发展”“真正学科生长点是什么”等问题的探讨逐渐增多,本文将这些问题统一定义为对学科交叉规律的研究,本节对此分别梳理和总结。

3.3.1 学科交叉影响双向测度

学科交叉在诺贝尔科学奖中所占比例逐渐增大激发了人们对哪些因素促进学科交叉及学科交叉反过来是否会导致更大学术影响力等问题的探讨,现有研究主要包括以下两方面:①促进学科交叉相关变量分析。如王文平等[92]研究表明国际合作促进学科交叉,但国际合作推动学科交叉的程度受研究领域的影响;D. Rhoten 等[93]认为学科交叉活动的本质为交叉繁殖、团队合作、领域创新、问题导向,和男性相比,女性在这些方面更具优势,故女性更易从事学科交叉研究;J. Qin 等[58]研究表明单篇文章有 5 个或以上作者比一个作者更倾向引用学科交叉研究文献,合著作者来自不同机构或不同国家比来自同一机构或同一国家更倾向引用学科交叉研究文献;I. Rafols 等[94]认为需要应用不同学科仪器的项目或研究比传统学科更倾向学科交叉;F. J. V. Rijnsoever 等[95]分析发现女性更容易参与学科交叉研究合作,其次科学家工作时间、在公司或政府部门工作、从事应用研究等均与学科交叉正相关。以上分析表明科研合作的不同层次(国家、机构、个人)、研究者性别、工作时长、机构属性、研发活动类型等均与学科交叉紧密相关,但现有研究主要以问卷调查、实地访谈或定性和定量结合为主,数据量小且具有一定主观性,未来可在扩充数据基础上挖掘更多因素深入分析。②学科交叉与学术影响力关系分析。李东等[96]研究表明科学家之间的学科交叉合作和不同学科引用偏好与其学术影响力之间并不存在必然关联;T. W. Steele 等[97]发现文章学科交叉度越强,则其被引次数越多;L. Vincent 等[98]研究发现高度学科性和高度学科交叉度的论文学术影响力均很小;Y. Y. Alfredo 等[99]研究表明论文学术影响力与引用文献学科丰富性正相关,但与学科平衡性和差异性呈负相关;王菲菲等[100]认为学科交叉度大小与文献价值成长老化指标之间存在倒 U 型的曲线关系,即在特定阈值情况下,学科交叉度指标增大,其学术价值成长老化指标随之增大,超过阈值,则减少。以上分析表明学科交叉并不一定提高学术影响力,领域不同、学科交叉度、学术影响力测度指标选择不同均可产生不同结果,应以实际分析为准。

通过对上文梳理可知,目前学科交叉影响双向测度尚处于初步阶段,以“科研合作是否促进学科交叉”和“学科交叉是否提高学术影响力”两方面文章居多,但促进学科交叉因素很多,提高学术影响力也只是学科交叉的一个方面,故可结合学科交叉测度的不同维度全方面剖析该问题。

3.3.2 学科交叉研究主题识别

学科交叉容易产生新的科学生长点,而对于交叉主题的识别有助于更加准确、清晰地挖掘生长点是什么。现有研究主要从共词分析、共被引分析、文本挖掘 3 方面进行学科交叉研究主题识别,其中:①共词分析以关键词为研究对象,通过统计频次或建立模型来构建学科交叉知识关联网络,挖掘隐含或潜在的学科交叉研究主题[101]。如闵超等[102]构造两门学科核心期刊

论文规范化关键词交集,通过对关键词交集的词频分析、社会网络分析探讨两门学科交叉研究热点;李长玲等[103]利用重叠社区发现方法对情报学和计算机科学学科中知识聚类和重叠社群网络进行可视化展示,并对学科交叉研究主题进行分析;隗玲等[104]运用弱共现和突发监测两种方法对情报学学科的研究主题及交叉性进行分析;K. Dong 等[105]综合利用共现网络、高 TI 词、突发监测等方法对图书情报领域学科交叉主题进行全方位分析。②共被引分析认为共同被其他文献引用的两篇文献具有研究主题相似性,以此假设为基础构建共被引网络,在此网络基础上挖掘得到文献簇来表示研究主题[106]。该方法具有动态性,故相关研究不多,如 R. Chi 等[107]以 1980 – 2010 年跨文化关系研究领域文献为数据集,通过构建共被引网络识别该领域主要研究主题及主题之间关系。③文本挖掘借助文本挖掘算法对研究文献文本内容进行识别,可综合考虑文献语法、语义信息,近年来逐渐受到关注,如 J. Raimbault[108]采用引文网络分析和语义分析两种方法,通过建立近 20 万篇文章的大语料库分析《地理通才》杂志学科交叉研究主题;韩正琪[109]使用主题模型、K-means 算法对纳米科学与技术领域进行学科交叉研究主题识别;魏建香等[110]通过构建学科交叉文献发现模型与知识挖掘模型,在学科特征关键词集合、VSM 矩阵、FCM 算法聚类等技术支撑下对情报学与计算机科学两个学科的学科交叉研究主题进行挖掘与分析。

综上,现有学科交叉研究主题识别文献大多以某两个学科为例,挖掘学科 A、学科 B 交叉主题,但学科 A、B 可能还会和学科 C、D 等产生交叉,故会遗漏与其他学科的交叉点;其次,数据源以容易发生交叉的人文社会科学领域居多,自然科学领域学科交叉研究主题有哪些尚未有探索;最后,已有较多主题识别方法,但各有缺陷,没有形成系统完善的方法,以上问题均是未来研究需要关注和进一步解决的方面。

4 总结与展望

本文从学科交叉相关概念辨析入手,以学科交叉理论研究、测度研究、相关规律研究为视角,梳理总结了学科交叉人才培养和教育、研究类型等内容,综合现有实践和研究,提出以下不足并对未来发展提出展望:

4.1 师资队伍和课程体系需进一步优化

虽国内外高校均通过建立学科交叉研究中心促进其发展,但并未将交叉学科作为一门独立的学科;其次,研究者大多只精通一门学科,在解决特定问题时聚集各学科人才,问题结束研究队伍随之解散,很难建立一支交叉学科的稳定师资人才队伍;最后,高校培养方案仍注重单一学科知识系统性,专业选修课少且没有代表性。故未来应进一步确立学科交叉的重要性及地位,加强学科交叉研究人员本身的学科交叉教育,调整培养方案和课程体系,为复合型人才培养提供更多平台,创造更多机会。

4.2 研究对象多样性有待完善

因论文文献的分类体系较为成熟、数据库覆盖面较为广泛,前文定量分析大都以某一专业数据库中某一领域、某些学科、某些期刊、某些作者的论文文献为数据基础,但学科交叉的关键在于整合不同知识体系,其研究主体为团队或个人,研究客体为团队或个人为解决实践问题集成多学科知识而产出的论文、专利、专著、项目等内容,故仅以论文文献为研究对象使研究结果的完整性、准确性、科学性有待考证,因此应当再结合考察其他形式的学科交叉内容。

4.3 学科交叉测度方法、测度指标仍需系统化科学化

参考文献所属期刊类别是目前学科交叉测度最常用的方法,基于目标文献和施引文献的学科交叉测度由于数据量较少、动态变化性强等问题需和参考文献联合使用,而个人学术背景及作者(机构)合作由于数据获取及处理的复杂性尚处于探索阶段,以上方法存在如期刊所属学科类别并不能完全代表文献学科类别、个人学术背景与实际研究并不完全对应、不同机构合作并不能代表产出一定为学科交叉成果等问题;测度指标方面,单维度指标居多,全面考虑学科交叉本质的多维指标较少,且计算复杂,难以推广,故应进一步完善测度方法,结合不同测度视角,在指标尽可能反映学科交叉全要素基础上简化计算方法,使定量分析结果最大化客观反映领域学科交叉发展的本质。

4.4 学科分类体系有待进一步界定

目前粗粒度、细粒度学科分类体系层出不穷,且处于不断动态变化,而采用不同粒度的分类体系研究同一领域可能得出不同结论,故选择恰当分类体系是得出可靠结果的关键。综上,首先应明确研究目的,因粗粒度的学科交叉难度较大,往往更易产生重大科学发现,若想了解某领域是否可能产生重大成果,可选择粗粒度学科分类体系,若想分析某领域具体运用了哪些学科知识,可选择细粒度学科分类体系;其次,不同粒度的分类体系是以具体数据源为支撑,如分析中文期刊跨学科性,宜采取中国引文数据库分类体系,分析国家自然科学基金委项目跨学科性,宜采取其八大学部

的学科分类体系。

4.5 学科交叉双向影响因素不够全面

"哪些因素促进学科交叉"及"学科交叉反过来又促进哪些方面的发展"已有部分研究,但聚焦因素较少,以科研合作、性别等因素对学科交叉的影响及学科交叉和学术影响力相关关系分析为主,而学科交叉是众多因素推动发展的结果,如定性分析中提到的内外动力等,且学科交叉研究对学科交叉问题本质的揭示程度不仅仅影响学术影响力,也影响项目评审等过程,故应在系统梳理学科交叉影响因素的基础上,综合使用定性、定量分析方法验证结果,为政策制定提供参考借鉴。

4.6 主题识别方法尚未完善

目前部分学者在学科交叉研究主题识别方面有一些初步探索,但整体以情报学及相关领域为例,数据量少,而真正学科生长点的挖掘应是基于大规模的数据基础,故现有方法的适用性有待进一步验证;其次,大多方法以两个学科关键词交集为数据基础,该方法会忽略这两个学科与其他学科的交叉。综上,未来应在学科大数据基础上,借助先进的算法和可视化技术,更加微观、深入地进行主题识别。

4.7 定性、定量方法需相互结合、互为补充

除部分学者在学科交叉影响因素分析中使用问卷调查或实地访谈等半定量化方法外,其他研究要么是定性分析,要么是定量研究,以定量研究的居多。但以定性为主的宏观分析是学科整体脉络的基础,是关于学科交叉本质的探讨,而对这些问题的把握是以定量为主的微观分析的基础,如只有明确学科交叉概念本质才能使具体测度指标系统全面,只有明确学科交叉类型才能知道具体交叉主题是方法借用还是概念移植,只有明确影响学科交叉的因素才能使用定量指标更好地设计和测度。故应加强宏观研究,在宏观分析基础上融合微观分析,只有这样,学科交叉研究的整个体系才是一脉相通的。

参考文献:

[1] 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020 年)[EB/OL]. [2020-03-04]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_240244.htm.
[2] 国家自然科学基金委员会资助格局[EB/OL]. [2020-03-04]. http://www.nsfc.gov.cn/publish/portal0/jgsz/08/default.htm#02.
[3] National academies keck futures initiative. Collaborations of consequence: NAKFI's 15 years igniting innovation at the intersections of disciplines[M]. Washington: National Academies Press, 2018.
[4] Interdisciplinary research hubs to address intractable challenges faced by developing countries[EB/OL]. [2019-11-04]. https://www.ukri.org/research/global-challenges-research-fund/interdisciplinary-research-hubs-to-address-intractable-challenges-faced-by-developing-countries/.
[5] Crossing borders-interdisciplinary reviews and their effects [EB/OL]. [2019-11-04]. https://www.dfg.de/en/service/suche_en/index.jsp?fl = *% 2Cscore&rubric = &q = interdisciplinary&head-suche =.
[6] How to promote interdisciplinary research [EB/OL]. [2019-11-04]. http://www.cnrs.fr/fr/%3C! [CDATA[http://www.cnrs.fr/fr/depasser-les-limites-de-la-connaissance]]%3E.
[7] HCERHE. Evaluation framework for interdisciplinary research units [EB/OL]. [2020-03-04]. http://www.heceres.fr/aeres/search?SearchText = referential + d%27evaluation + des + unites + de + recherche + interdisciplinaries &searchRap-ports = %2Faeres% 2Fsearch&reportType% 5B% 5D = all&x = 0&y = 0.
[8] REF 2021 interdisciplinary research [EB/OL]. [2020-03-04]. https://www.ref.ac.uk/about/interdisciplinary-research/.
[9] MIT media lab [EB/OL]. [2020-03-04]. https://www.media.mit.edu/about/overview/.
[10] Consortia for improving medicine with innovation & technology [EB/OL]. [2020-03-04]. https://cimit.org/about.
[11] 北京大学前沿交叉学科研究院[EB/OL]. [2020-03-04]. http://www.aais.pku.edu.cn/about/.
[12] 浙江大学经济学院[EB/OL]. [2020-03-04]. http://www.cec.zju.edu.cn/zzjg/list.htm.
[13] 刘小宝. 论"跨学科"的谱系[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2013.
[14] 童斌. 跨学科研究与历史学[J]. 国外社会科学, 1979 (5): 69-78.
[15] 吴维民. 交叉科学研究[M]. 成都: 四川大学出版社, 1989.
[16] 路甬祥. 学科交叉与交叉科学的意义[J]. 中国科学院院刊, 2005, 20(1):58-60.
[17] 许海云, 尹春晓, 郭婷, 等. 学科交叉研究综述[J]. 图书情报工作, 2015, 59(5):119-127.
[18] 章成志, 吴小兰. 跨学科研究综述[J]. 情报学报, 2017, 36(5):95-107.
[19] 张琳. 国内外"交叉科学"研究现状及评述[J]. 科技管理研究, 2013, 33(12):258-261.
[20] STOPAR K, DROBNE D, ELER K, et al. Citation analysis and mapping of nanoscience and nanotechnology: identifying the scope and interdisciplinarity of research[J]. Scientometrics, 2016, 106(2):563-581.
[21] CUMMINGS J N, KIESLER S. Organization theory and the changing nature of science[J]. Journal of organization design, 2014, 3(3):1-16.
[22] 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典[M]. 北京: 商务印书馆, 2016.
[23] 库恩. 必要的张力:科学的传统和变革论文选[M]. 北京: 北京大学出版社, 2004.

[24] 刘仲林. 跨学科学导论[M]. 杭州：浙江教育出版社，1990.
[25] 刘仲林. 交叉科学时代的交叉研究[J]. 科学学研究，1993，11(2)：9－16.
[26] ERICH J. Inter- and transdisciplinary university：a systems approach to education and innovation[J]. Policy sciences，1970，1(1)：403－428.
[27] 中国科学技术培训中心. 迎接交叉科学的时代[M]. 北京：光明日报出版社，1986.
[28] 姜振寰. 交叉科学学科辞典[M]. 北京：人民出版社，1990.
[29] National Academy of Sciences. Facilitating interdisciplinary research[R]. Washington：National Academies Press，2004.
[30] RAFOLS I，MEYER M. Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity：case studies in bionanoscience[J]. Scientometrics，2009，82(2)：263－287.
[31] 李江. "跨学科性"的概念框架与测度[J]. 图书情报知识，2014(3)：87－93.
[32] 陈其荣，殷南根. 交叉学科研究与教育：21世纪一流大学的必然选择[J]. 研究与发展管理，2001，13(3)：44－48.
[33] HALL P，WEAVER L. Interdisciplinary education and teamwork：a long and winding road[J]. Medical education，2001，35(9)：867－875.
[34] SZOSTAK R. "Comprehensive" curricular reform：providing students with a map of the scholarly enterprise[J]. Journal of general education，2003，52(1)：27－49.
[35] SINGLETON J K，GREEN-HERNANDEZ C. Interdisciplinary education and practice. has its time come? [J]. The journal of midwifery & women's health，2011，43(1)：3－7.
[36] ORILLION M F. Interdisciplinary curriculum and student outcomes：the case of a general education course at a research university[J]. Journal of general education，2009，58(1)：1－18.
[37] 汪丁丁. 转型期社会的跨学科教育问题[J]. 社会科学战线，2012(7)：197－201.
[38] NANCARROW S A，BOOTH A，ARISS S，et al. Ten principles of good interdisciplinary team work[J]. Human resources for health，2013，11(1)：11－19.
[39] 郑腊香. 跨学科教育——培养国际化人才的有效途径[J]. 经济研究导刊，2014(18)：268－269.
[40] 李春景，刘仲林. 现代科学发展学科交叉模式探析——一种学科交叉模式的分析框架[J]. 科学学研究，2004，22(3)：244－248.
[41] 金薇吟. 学科交叉方法探析[J]. 科学学研究，2006，24(5)：667－671.
[42] KLEIN J. Across the boundaries[J]. Social epistemology，1990，4(3)：267－280.
[43] 周文娟. 基于诺贝尔自然科学奖的学科交叉研究[D]. 南昌：南昌大学，2010.
[44] 程如烟. 美国国家科学院协会报告《促进跨学科研究》述评[J]. 中国软科学，2005(10)：154－156.
[45] 马跃，蔡兵，于小娟，等. 交叉学科研究的成长环境与动力机制分析[J]. 研究与发展管理，2007，19(5)：105－110.
[46] SHRIMPTON B，ASTBURY B. Motivations for doing interdisciplinary research：results from an Australian qualitative study[J]. International journal of interdisciplinary social sciences，2011，6(1)：195－206.
[47] MILMAN A，MARSTON J M，GODSEY S E，et al. Scholarly motivations to conduct interdisciplinary climate change research[J]. Journal of environmental studies and sciences，2017，7(2)：239－250.
[48] 郝凤霞，张春美. 原创性思维的源泉——百年诺贝尔奖获奖者知识交叉背景研究[J]. 自然辩证法研究，2001，17(9)：55－59.
[49] 刘仲林，赵晓春. 跨学科研究：科学原创性成果的动力之源——以百年诺贝尔生理学和医学奖获奖成果为例[J]. 科学技术哲学研究，2005，22(6)：105－109.
[50] SUGIMOTO C R，NI C，RUSSELL T G，et al. Academic genealogy as an indicator of interdisciplinarity：an examination of dissertation networks in Library and Information Science[J]. Journal of the Association for Information Science & Technology，2014，62(9)：1808－1828.
[51] ABRAMO G，D'ANGELO C A，COSTA F D. Identifying interdisciplinarity through the disciplinary classification of coauthors of scientific publications[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology，2012，63(11)：2206－2222.
[52] WAGNER C S，ROESSNER J D，BOBB K，et al. Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR)：a review of the literature[J]. Journal of informetrics，2011，5(1)：14－26.
[53] 张琳，孙蓓蓓，黄颖. 跨学科合作模式下的交叉科学测度研究——以ESI社会科学领域高被引学者为例[J]. 情报学报，2018，37(3)：231－242.
[54] QIU L. A study of interdisciplinary research collaboration[J]. Research evaluation，1992，2(3)：169－175.
[55] CHUA A Y K，YANG C C. The shift towards multi - disciplinarity in information science[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology，2008，59(13)：2156－2170.
[56] PORTER A L，COHEN A S，ROESSNER D J，et al. Measuring researcher interdisciplinarity[J]. Scientometrics，2007，72(1)：117－147.
[57] GOWANLOCK M，GAZAN R. Assessing researcher interdisciplinarity：a case study of the University of Hawaii NASA Astrobiology Institute[J]，2013，94(1)：133－161.
[58] QIN J，LANCASTER F W，ALLEN B. Types and levels of collaboration in interdisciplinary research in the sciences[J]. Journal of the American Society for Information Science，1997，48(10)：893－916.
[59] 徐晓艺，杨立英. 科研合作视角下的学科知识流动分析方法研究——以药物化学学科为例[J]. 图书情报工作，2014，58(19)：83－91.
[60] 杨良斌，周秋菊，金碧辉. 基于文献计量的跨学科测度及实证研究[J]. 图书情报工作，2009，53(10)：87－90.
[61] 黄颖，高天舒，王志楠，等. 基于Web of Science分类的跨学科测度研究[J]. 科研管理，2016，37(3)：124－132.
[62] WANG X F，WANG Z，HUANG Y，et al. Measuring interdisciplinarity of a research system：detecting distinction between publication categories and citation categories[J]. Scientometrics，2017，111(3)：2023－2039.

[63] 黄颖，张琳，孙蓓蓓，等. 跨学科的三维测度——外部知识融合、内在知识会聚与科学合作模式[J]. 科学学研究，2019，37(1):27-37.
[64] PORTER A L, ROESSNER J D, COHEN A S, et al. Interdisciplinary research: meaning, metrics and nurture[J]. Research evaluation, 2006, 15(3):187-196.
[65] PORTER A L, RAFOLS I. Is science becoming more interdisciplinary? measuring and mapping six research fields over time[J]. Scientometrics, 2009, 81(3):719-745.
[66] STIRLING A. A general framework for analysing diversity in science, technology and society[J]. Journal of the royal society interface, 2007, 4(15):707-719.
[67] LEYDESDORFF L. Betweenness centrality as an indicator of the interdisciplinarity of scientific journals[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2007, 58(9):1303-1319.
[68] ZHANG L, ROUSSEAU R, GLANZEL W. Diversity of references as an indicator of the interdisciplinarity of journals: taking similarity between subject fields into account[J]. Journal of the Association for Information Science and Technology, 2016, 67(5):1257-1265.
[69] SZELL M, MA Y, SINATRA R. A Nobel opportunity for Interdisciplinarity[J]. Nature physics, 2018, 14(11): 1075-1078.
[70] KRAPIVSKY P L, REDNER S. Network growth by copying[J]. Physical review e, 2005, 71(3): 142-154.
[71] CARLEY S, PORTER A L. A forward diversity index[J]. Scientometrics, 2012, 90(2):407-427.
[72] LIU Y, ROUSSEAU R. Knowledge diffusion through publications and citations: a case study using ESI fields as unit of diffusion[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2010, 61(2): 340-351.
[73] 童寿传. 中国图书情报学知识扩散的模式及其演化规律——以 SSCI 论文为例[D]. 杭州：浙江大学，2018.
[74] 操玉杰，毛进，潘荣清，等. 学科交叉研究的演化阶段特征分析——以医学信息学为例[J]. 数据分析与知识发现，2019，3(5):107-116.
[75] WANG J, BART T, WOLFGANG G, et al. Interdisciplinarity and impact: distinct effects of variety, balance, and disparity[J]. PLOS ONE, 2015, 10(5): e0127298.
[76] LEYDESDORFF L, RAFOLS I. Indicators of the interdisciplinarity of journals: diversity, centrality, and citations[J]. Journal of informetrics, 2011, 5(1):87-100.
[77] PORTER A L, CHUBIN D E. An indicator of cross-disciplinary research[J]. Scientometrics, 1985, 8(3/4):161-176.
[78] LEYDESDORFF L, RAFOLS I. Indicators of the interdisciplinarity of journals: diversity, centrality, and citations[J]. Journal of informetrics, 2011, 5(1):87-100.
[79] HAMERS L, HEMERYCK Y, HERWEYERS G, et al. Similarity measures in scientometric research: the Jaccard index versus Salton's cosine formula[J]. Information processing & management an international journal, 1989, 25(3):315-318.
[80] CHEN K H, LIANG C F. Disciplinary interflow of library and information science in Taiwan[J]. Journal of library & information studies, 2004, 2(2):31-55.
[81] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[J]. Bell labs technical journal, 1950, 3(9):31-32.
[82] SIMPSON E H. Measurement of diversity[J]. Nature, 1949, 163(4148):688.
[83] BRILLOUIN L, HELLWARTH R W. Science and information theory[J]. Physics today, 1956, 9(12):39-40.
[84] GRANT R M, JAMMINE A P, THOMAS H. Diversity, diversification, and profitability among British manufacturing companies[J]. Academy of management journal, 1988, 31(4): 771-801.
[85] MONTGOMERY C A, WERNERFELT B. Diversification, ricardian rents, and tobin's q[J]. The RAND journal of economics, 1988, 19(4):623-632.
[86] BROMHAM L, DINNAGE R, HUA X. Interdisciplinary research has consistently lower funding success[J]. Nature, 2016, 534(7609):684-687.
[87] LEYDESDORFF L, WAGNER C S, BORNMANN L. Interdisciplinarity as diversity in citation patterns among journals: Rao-Stirling diversity, relative variety, and the Gini coefficient[J]. Journal of informetrics, 2019, 13(1): 255-269.
[88] LEYDESDORFF L. Betweenness centrality as an indicator of the interdisciplinarity of scientific journals[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2007, 58(9):1303-1319.
[89] 李长玲，纪雪梅，支岭. 基于 E-I 指数的学科交叉程度分析——以情报学等 5 个学科为例[J]. 图书情报工作，2011，55(16):33-36.
[90] EGGHE L, ROUSSEAU R. BRS-compactness in networks: theoretical considerations related to cohesion in citation graphs, collaboration networks and the Internet[J]. Mathematical and computer modelling, 2003, 37(7/8):879-899.
[91] 陈赛君，陈智高. 领域交叉性分析指标与方法新探及其实证研究[J]. 情报学报，2013，32(11):1184-1195.
[92] 王文平，刘云，何颖，等. 国际科技合作对跨学科研究影响的评价研究——基于文献计量学分析的视角[J]. 科研管理，2015，36(3):127-137.
[93] RHOTEN D, PFIRMAN S. Women in interdisciplinary science: exploring preferences and consequences[J]. Research policy, 2007, 36(1):56-75.
[94] RAFOLS I, MEYER M. How cross-disciplinary is bionanotechnology? explorations in the specialty of molecular motors[J]. Scientometrics, 2007, 70(3):633-650.
[95] RIJNSOEVER F J V, HESSELS L K. Factors associated with disciplinary and interdisciplinary research collaboration[J]. Research policy, 2011, 40(3):463-472.
[96] 李东，童寿传，李江. 学科交叉与科学家学术影响力之间的关系研究[J]. 现代图书情报技术，2018，2(12): 5-15.
[97] STEELE T W, STIER J C. The impact of interdisciplinary research in the environmental sciences: a forestry case study[J]. Journal of the

American Society for Information Science, 2000, 51(5): 476-484.
[98] VINCENT L, GINGRAS Y. On the relationship between interdisciplinarity and scientific impact[J]. Journal of the American Society for Information Science & Technology, 2010, 61(1):126-131.
[99] ALFREDO Y Y, ISMAEL R, D'ESTE P, et al. Does interdisciplinary research lead to higher citation impact? the different effect of proximal and distal interdisciplinarity[J]. PLOS ONE, 2015, 10(8): 1-21.
[100] 王菲菲, 贾晨冉, 刘俊婉, 等. 交叉学科中文献学术价值的成长与老化研究——以医学信息学为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2018, 39(2):11-22.
[101] CALLON M, COURTIAL J P, LAVILLE F. Co-word analysis as a tool for describing the network of interactions between basic and technological research: the case of polymer chemsitry[J]. Scientometrics, 1991, 22(1):155-205.
[102] 闵超, 孙建军. 基于关键词交集的学科交叉研究热点分析——以图书情报学和新闻传播学为例[J]. 情报杂志, 2014, 33(5):76-82.
[103] 李长玲, 刘非凡, 郭凤娇. 运用重叠社群可视化软件 CFinder 分析学科交叉研究主题——以情报学和计算机科学为例[J]. 图书情报工作, 2013, 57(7):75-80.
[104] 隗玲, 许海云, 郭婷, 等. 基于弱共现和突发监测的情报学学科研究主题[J]. 图书情报工作, 2015, 59(21):105-114.
[105] DONG K, XU H Y, LUO R, et al. An integrated method for interdisciplinary topic identification and prediction: a case study on information science and library science[J]. Scientometrics, 2018, 115(2): 849-868.
[106] VAN P, HEIMERIKS G. Mapping research topics using word-reference co-occurrences: a method and an exploratory case study[J]. Scientometrics, 2006, 68(3): 377-393.
[107] CHI R, YOUNG J. The interdisciplinary structure of research on intercultural relations: a co-citation network analysis study[J]. Scientometrics, 2013, 96(1): 147-171.
[108] RAIMBAULT J. Exploration of an interdisciplinary scientific landscape[J]. Scientometrics, 2019, 119(2): 617-641.
[109] 韩正琪. 基于主题模型的学科交叉主题识别[D]. 北京:中国科学院大学, 2018.
[110] 魏建香, 孙越泓, 苏新宁. 学科交叉知识挖掘模型研究[J]. 情报理论与实践, 2012, 35(4):76-80.

作者贡献说明:
张雪:进行文献调研、研究资料收集、整理与分析,起草与修订论文;
张志强:提出论文研究思路,参与论文修订。

Review on Interdisciplinary Research

Zhang Xue[1,2] Zhang Zhiqiang[1,2]
[1] Chengdu Library and Information Center, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041
[2] Department of Library, Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

Abstract: [Purpose/significance] Combing the interdisciplinary research, summarizing the existing research problems, providing references for evaluating the effect of interdisciplinary research and promoting the development of interdisciplinary research. [Method/process] This paper first analyzed the related concepts of interdisciplinary research, and then, on the basis of the research at home and abroad, from the perspectives of interdisciplinary theoretical research (interdisciplinary research in talent development and education, types of interdisciplinary research, internal and external motivation and obstacles of interdisciplinary research), interdisciplinary measurement research (interdisciplinary measurement methods, interdisciplinary measurement indicators), interdisciplinary law research (interdisciplinary research impact two-way measurement, interdisciplinary research topic identification) to summarize it. At the end of the paper, pointing out the existing research deficiencies and putting forward the prospect for the future development. In this research, we can provide help for the follow-up research from the perspective of the combination of micro-deep analysis and macro-overall construction. [Result/conclusion] At present, there are some deficiencies in interdisciplinary research: the faculty and curriculum system need to be further optimized; the diversity of research objects needs to be improved; the interdisciplinary measurement methods and measurement indicators need to be systematized; the subject classification system needs to be further defined; the two-way influencing factors of interdisciplinary are not comprehensive; the subject identification methods are not complete; the qualitative and quantitative methods need to be combined with each other. Future research can be conducted in-depth analysis of the above deficiencies.

Keywords: interdisciplinary research theoretical research degree of interdisciplinary research influence factor topic recognition